

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации

Моисеевой Светланы Петровны

«Разработка методов исследования немарковских математических моделей систем массового обслуживания с неограниченным числом приборов и непуассоновскими входящими потоками», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

### Актуальность выбранной темы

Теория массового обслуживания является адекватным математическим аппаратом для решения проблем анализа и оптимизации функционирования различных технических, физических, экономических и др. систем, включая телекоммуникационные сети, центры обработки вызовов (контакт-центры), производственные системы и т.д. Она является весьма быстро развивающейся ветвью теории случайных процессов. Однако, потребности математического моделирования реальных систем возрастают еще быстрее и возникает необходимость в исследовании все новых видов систем массового обслуживания. В данной диссертационной работе в основном автор уделяет внимание двум новым и интересным классам моделей систем массового обслуживания (СМО): СМО с параллельным обслуживанием так называемых кратных запросов и системам с повторными обращениями на обслуживание, описывающим многие реальные системы, а также их комбинации. Несмотря на новизну и сложность исследования систем этих видов как таковых, автор делает существенный шаг в усложнении рассматриваемых моделей, частично отказываясь от стандартных в классической теории массового обслуживания предположений о том, что входящий поток является стационарным пуассоновским, а время обслуживания запросов имеет показательное распределение. В ряде случаев предполагается, что входящие потоки являются марковскими потоками, являющимися, вообще говоря, коррелированными и

имеющими произвольное значение дисперсии длин интервалов между моментами поступления, что типично для многих потоков информации в современных телекоммуникационных сетях. Распределение времени может быть произвольным.

Таким образом, диссертационная работа Моисеевой С.П. посвященная разработке методов исследования систем с повторным обслуживанием требований и систем параллельного обслуживания кратных заявок потоков сложной структуры, является актуальным научным исследованием.

#### Новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций

В диссертации получены следующие новые научные результаты:

– предложены новые математические модели систем массового обслуживания с неограниченным числом обслуживающих приборов, а именно: СМО с повторным обращением заявок и модели параллельного обслуживания кратных заявок с непуассоновскими входящими потоками;

– разработан метод предельной декомпозиции – оригинальный метод исследования СМО с пуассоновским входящим потоком и произвольной функцией распределения времени обслуживания заявок, с помощью которого проведен анализ не только процесса изменения числа занятых приборов, но и различных потоков обращений к приборам системы;

– разработана существенная модификация метода асимптотического анализа систем при условии растущего времени обслуживания для исследования процессов изменения числа занятых приборов в рассматриваемых системах. Показано, что для СМО с непуассоновскими (ВМАР, МАР, полумарковскими) входящими потоками асимптотическое распределение числа занятых приборов является гауссовским, а для систем параллельного обслуживания парных заявок – двумерным гауссовским, что обобщает известные результаты для аналогичных систем с пуассоновским входящим потоком. Развитие метода асимптотического анализа, приводящее к асимптотике третьего порядка, позволило повысить точность аппроксимации по сравнению с гауссовской в три и более раз;

– предложен и обоснован оригинальный метод просеянного потока, позволяющий проводить исследование немарковских систем массового обслуживания с неограниченным числом обслуживающих приборов различной конфигурации и произвольным распределением времени обслуживания.

Достоверность основных положений, выводов и рекомендаций подтверждается строгим использованием математического аппарата, включающего методы теории вероятностей, случайных процессов, теории массового обслуживания, матричного анализа, дифференциального и интегрального исчисления. Совпадение результатов исследования частных случаев рассматриваемых систем с известными в литературе ранее, является косвенным подтверждением достоверности и обоснованности используемых в работе методов. Достоверность также подтверждается фактом реализации разработанных алгоритмов расчета характеристик систем в виде компьютерных программ, результатами численных экспериментов, а также сравнением их с результатами имитационного моделирования некоторых систем, проведенного автором, и грамотным применением статистических методов для их верификации.

#### Теоретическое и практическое значение работы

Разработанные в диссертации методы позволяют существенно расширить круг моделей систем массового обслуживания с неограниченным числом обслуживающих приборов, для которых можно получить аналитические, а не только численные, результаты, и существенно развивают теорию случайных процессов и теорию массового обслуживания.

Предложенный в диссертации метод просеянного потока решает важную научную проблему анализа немарковских систем обслуживания с непуассоновскими входящими потоками и открывает перспективы исследования широкого класса математических моделей реальных социально-экономических и технических систем.

Для ряда рассмотренных систем обслуживания найдены не только стационарные характеристики систем, но и характеристики в неустановившемся режиме, что также весьма важно для практических приложений.

Предложенные в работе математические модели могут быть применены для анализа стационарных и нестационарных характеристик реальных объектов в различных предметных областях, например, компьютерных систем с адаптируемым выделением вычислительных ресурсов, страховых и торговых компаний.

Использование результатов работы. Результаты работы могут быть практически использованы во всех приложениях теории массового обслуживания для построения, исследования и оптимизации математических моделей реальных систем, в том числе, страховых и торговых компаний, коммерческих и пенсионных фондов, а также для анализа сложных технических систем. Полученные результаты могут быть использованы для расчета операционных и вероятностных характеристик моделей существующих информационно-телекоммуникационных систем, глобальных и локальных компьютерных сетей с целью повышения эффективности их функционирования и выработки рекомендаций при проектировании новых систем.

Замечания по работе. Существенных замечаний по диссертации не имеется. Из несущественных отметим нестандартность некоторых используемых векторно-матричных обозначений (по сравнению с принятыми в западной литературе), что на первых порах несколько затрудняет чтение текста; использование жаргонных слов, например, производящая функция потока, пуассоновская производящая функция, а также наличие в тексте определенного числа стилистических погрешностей.

Общее заключение. Диссертационная работа Моисеевой Светланы Петровны «Разработка методов исследования немарковских математических моделей систем массового обслуживания с неограниченным числом приборов и непуассоновскими входящими потоками» является законченной

научно-исследовательской работой, посвященной решению научной проблеме анализа бесконечно-линейных моделей массового обслуживания с параллельным обслуживанием запросов несколькими приборами и повторами обслуживания, в том числе, систем с коррелированными входящими потоками и произвольным временем обслуживания. Совокупность представленных в ней результатов можно классифицировать как новое решение актуальной научной проблемы. Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в печатных изданиях, включая две монографии, основные результаты апробированы на представительных международных и всероссийских конференциях. Автореферат правильно и в достаточной мере отражает содержание диссертационной работы.

На основании вышесказанного считаю, что диссертационная работа Моисеевой С.П. удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям по физико-математическим наукам по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а ее автор Моисеева Светлана Петровна заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук  
профессор  
заведующий лабораторией  
прикладного вероятностного анализа  
Белорусского государственного университета

Александр Николаевич Дудин

220030 г. Минск, пр. Независимости, 4,  
Республика Беларусь.  
Url: [www.bsu.by](http://www.bsu.by).  
Тел: +375 296 482181  
E-mail: [dudin@bsu.by](mailto:dudin@bsu.by)

ПОДПИСЬ *Александр Дудин*  
Начальник управления  
организационной работы  
документационного обесп

« 18 » 11

